

FTAの検討状況と異常事象の発生シナリオについて (その2)

平成15年11月27日
独立行政法人
宇宙航空研究開発機構

1. はじめに

これまでに実施してきたFTAの検討に対して、見落としのないこと及び論理性を確認するため、以下の再整理を行った。

また、前回報告したFTAで絞り込んだ故障部位及び発生事象に対する発生箇所と発生シナリオの仮説について、解析と検証試験により可能性について検討をすすめ、仮説の一つを発生し得ないと判断した。

- (1) 事象の再整理
- (2) FTAの再整理
- (3) 異常事象の発生シナリオの改訂

2. 事象とFTAの再整理

(1) 事象の再整理

前回まで検討してきたFTAに対して、以下の観点から事象の再整理を実施した。

- 短絡・開放といった故障モードの違いが温度テレメトリにどのように現れるかについての再整理
- ケーブル結束方法と発生電力低下状況の一致性の再整理

図2 - 1に、故障モードの違い(開放・短絡)と温度変化の関係を示す。
図2 - 2に、運用異常発生時のPDM温度とシャント温度を再掲する。
図2 - 3に、ハーネス結束方法と発生電力低下状況の一致性を示す。

(2) FTA の再整理

前項の事象の再整理に加えて、見落としがないことの再確認を含めた電源系の各部位単位のFTAを再整理した。

図2 - 4に、電力低下に関するFTAの全体を示す。

図2 - 5に、シャントに関するFTAを示す。

図2 - 6に、太陽電池パドルに関するFTAを示す。

図2 - 7に、太陽電池パドルハーネスに関するFTAを示す。

図2 - 8に、パドル駆動機構接続ハーネスに関するFTAを示す。

図2 - 9に、部分破断とした場合の破断モードを示す。

3. 異常事象の発生シナリオの改訂

前回の報告では、FTAで絞り込んだ故障部位及び発生事象について、発生箇所及び発生シナリオを推定し、異常事象の発生シナリオの仮説を設定した。図3 - 1に、前回に報告した仮説を整理する。

それぞれの仮説に対して、発生可能性の検討について必要な解析や検証試験を進めている。(詳細は資料 調査4 - 3「原因究明に係る試験について」にて報告する。)

これらをもとに、前回報告した発生シナリオの仮説について評価を行った結果、パドル駆動機構接続ハーネスに対する仮説3 - 1については、以下の理由により発生する可能性が極めて低いと考えられる。

当該箇所は発生シナリオにおける「放電が発生しやすい環境」の条件が見あたらないこと
ハーネスの構成からも仮説で想定する事象が発生する可能性が極めて低いこと(図2 - 3参照)

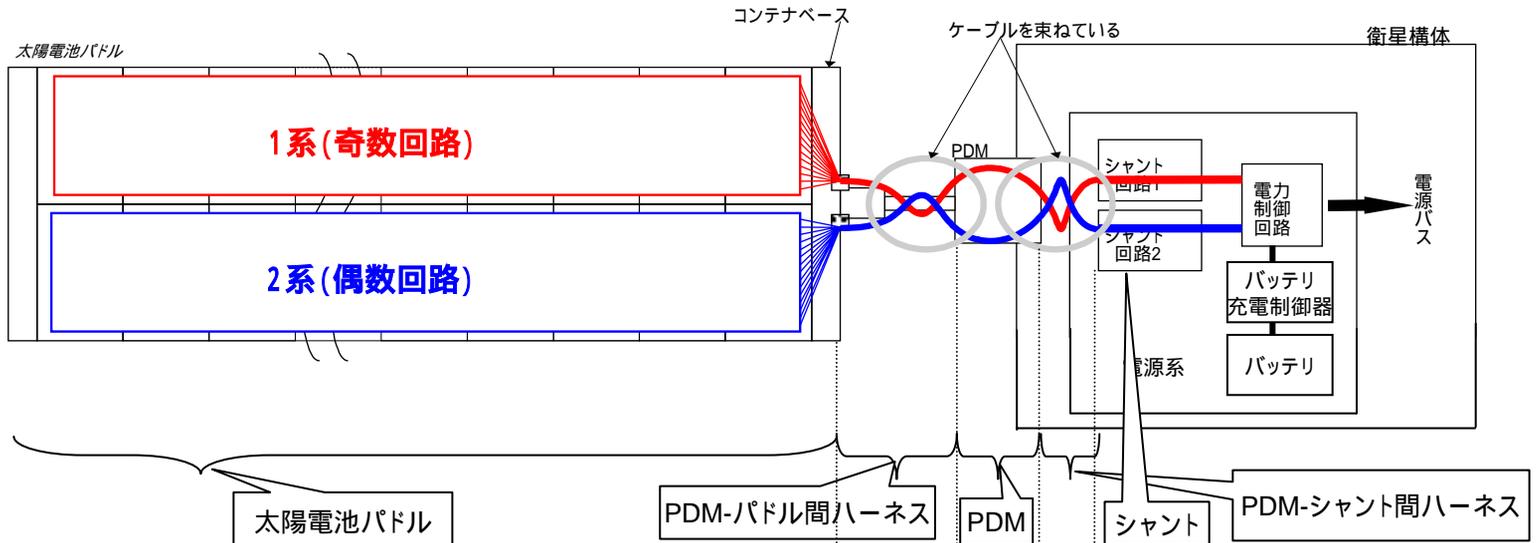
上記の結果を反映した、仮説を表3 - 1に示す。

4. まとめ

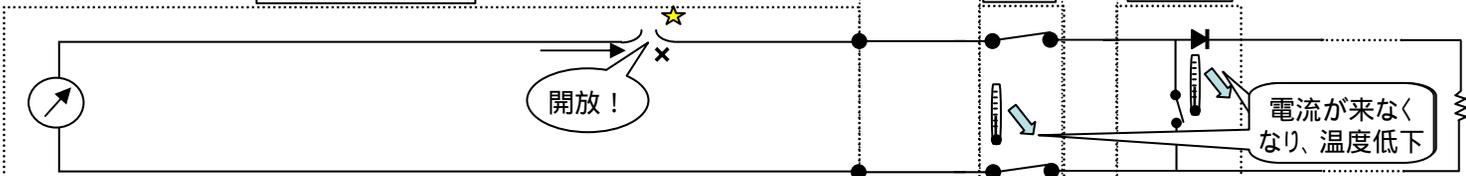
以上の検討から、前回までのFTAから、さらに下記の2箇所の発生部位に絞り込むことができた。

太陽電池パドルの電力ラインの開放または短絡
太陽電池パドルハーネス(パドルとパドル駆動機構間の電力ライン)
の開放または短絡

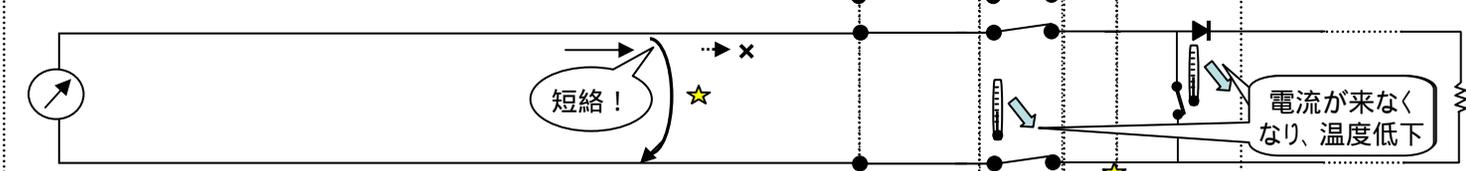
引き続き、異常事象の発生シナリオの仮説に対して、解析や検証実験を行い、発生シナリオの可能性について検討を進め、仮説の絞り込みを行っていく。



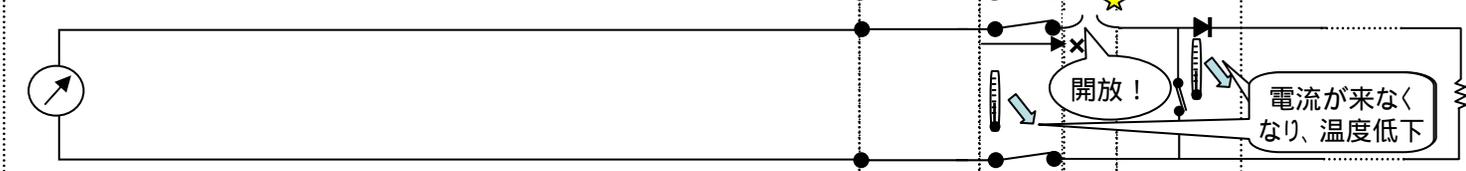
ケース1
PDMより
上流で開放



ケース2
PDMより
上流で短絡



ケース3
PDMより
下流で開放



~~ケース4
PDMより
下流で短絡~~

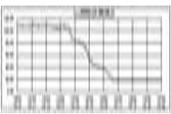
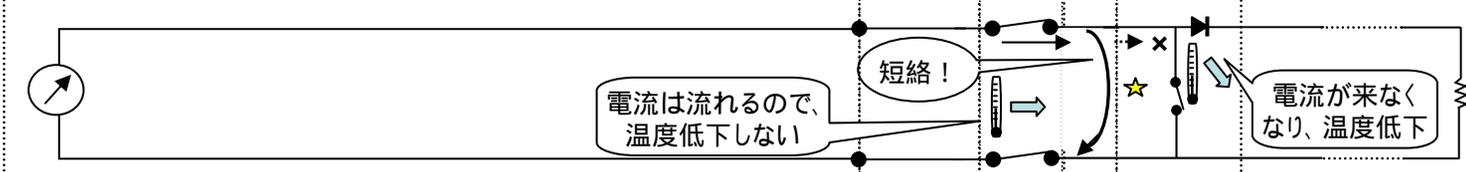


図2 - 1 事象と発生箇所の特定

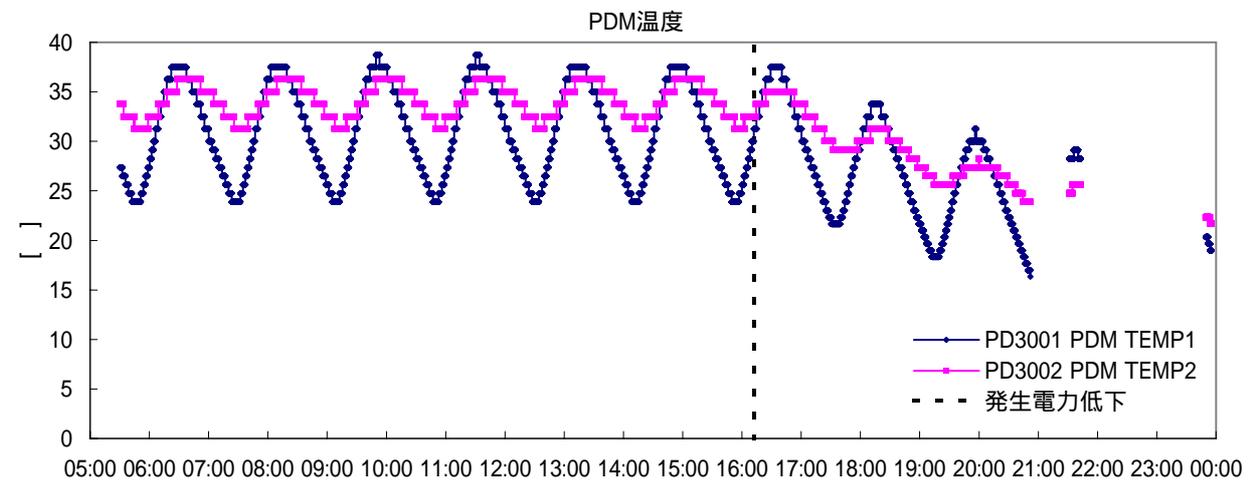
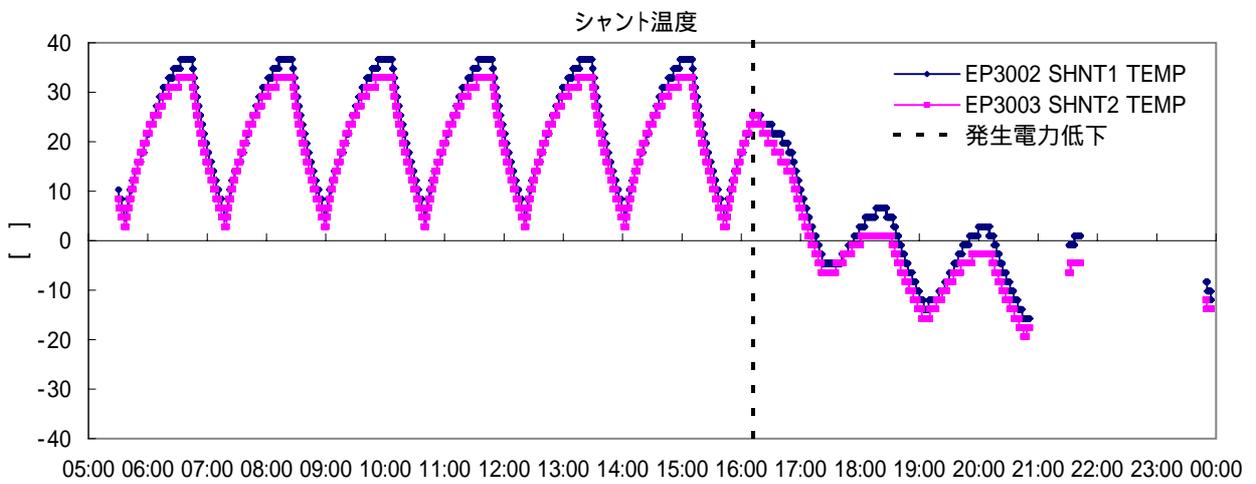
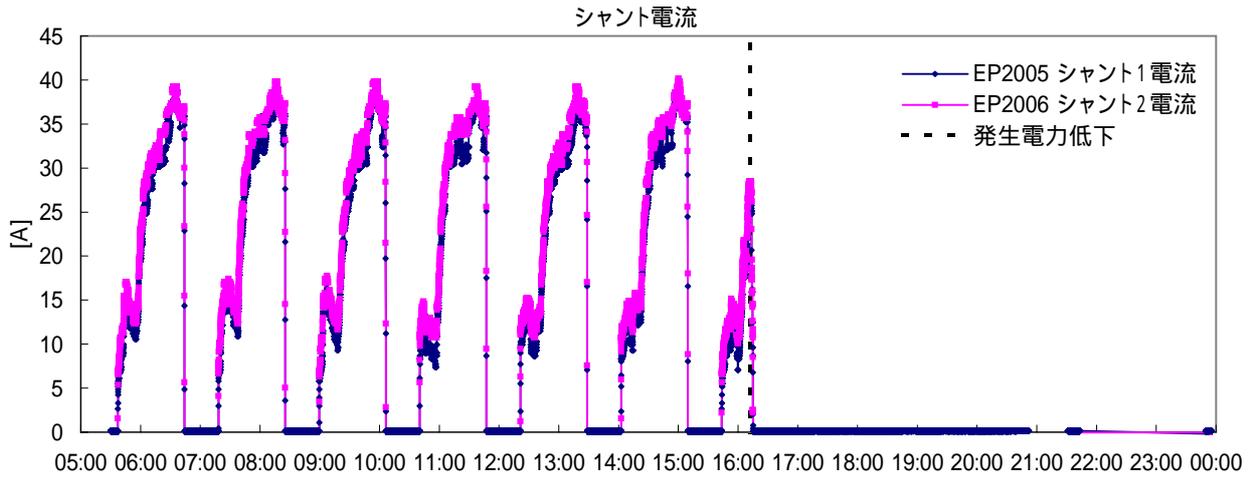
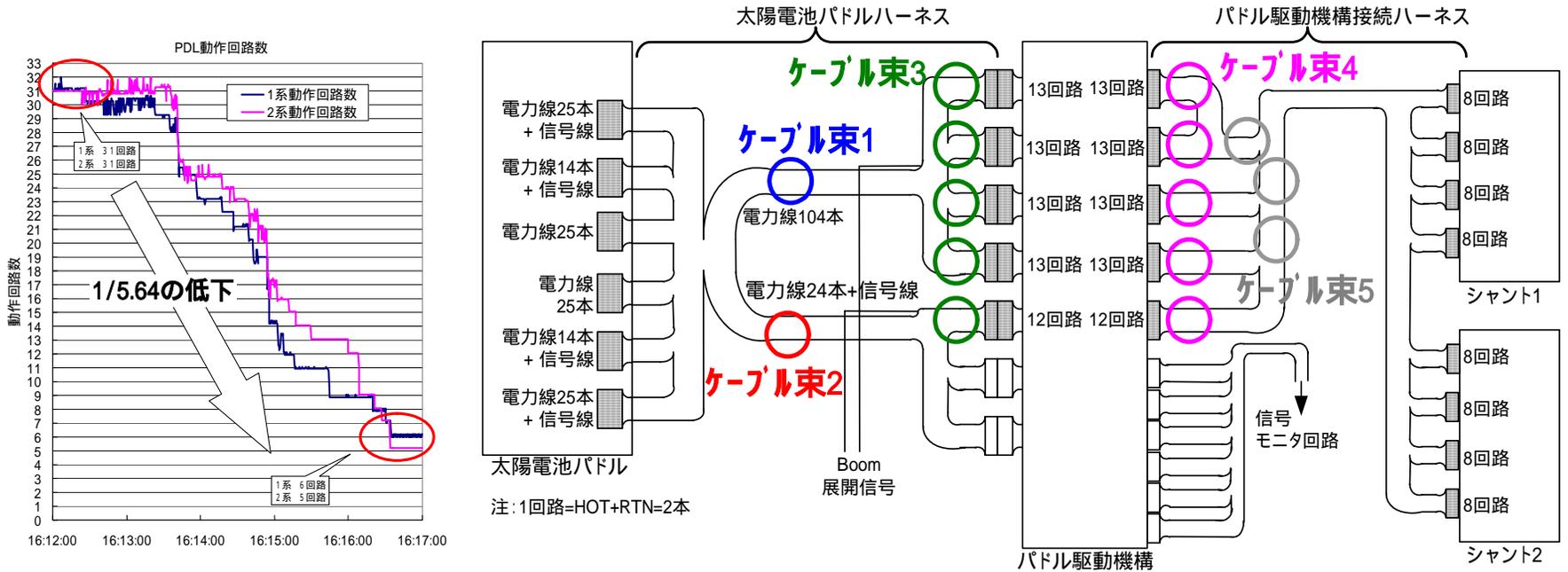


図2 - 2 シャント電流とシャント温度、パドル駆動機構温度

図2-3 ハーネスの結束単位と電力変動の一致性



太陽電池パドルハーネス破断のケース
一束破断の場合

	残存回路	低下量	電力低下との 一致性
ケーブル束1の破断	12回路	1/5.17	
	11回路	1/5.64	
	10回路	1/6.20	
ケーブル束2の破断	50回路	1/1.24	×
	51回路	1/1.22	×
	52回路	1/1.19	×

複数束破断の場合 (代表例)

	残存回路	低下量	電力低下との 一致性
ケーブル束3の破断	11回路	1/5.64	
	12回路	1/5.17	
	26回路	1/2.38	×
	39回路	1/1.59	×

パドル駆動機構接続ハーネス破断のケース
一束破断の場合 (代表例)

	残存回路	低下量	電力低下との 一致性
ケーブル束4の どれかひとつの破断	49回路	1/1.27	×
	50回路	1/1.24	×
	52回路	1/1.19	×
ケーブル束5のうち どれかの破断	39回路	1/1.59	×
	26回路	1/2.38	×
	24回路	1/2.58	×

複数束破断の場合 (代表例)

	残存回路	低下量	電力低下との 一致性
ケーブル束4の複数束破断	13回路	1/4.77	×
	12回路	1/5.17	
	11回路	1/5.64	
	25回路	1/2.48	×

【事象】
 発生電力が約3分間に約6kWから約1kWに低下
 (1)1系及び2系がほぼ同期して約100Wの倍数で低下
 (2)シャント温度、パドル駆動機構温度が電力低下後に低下

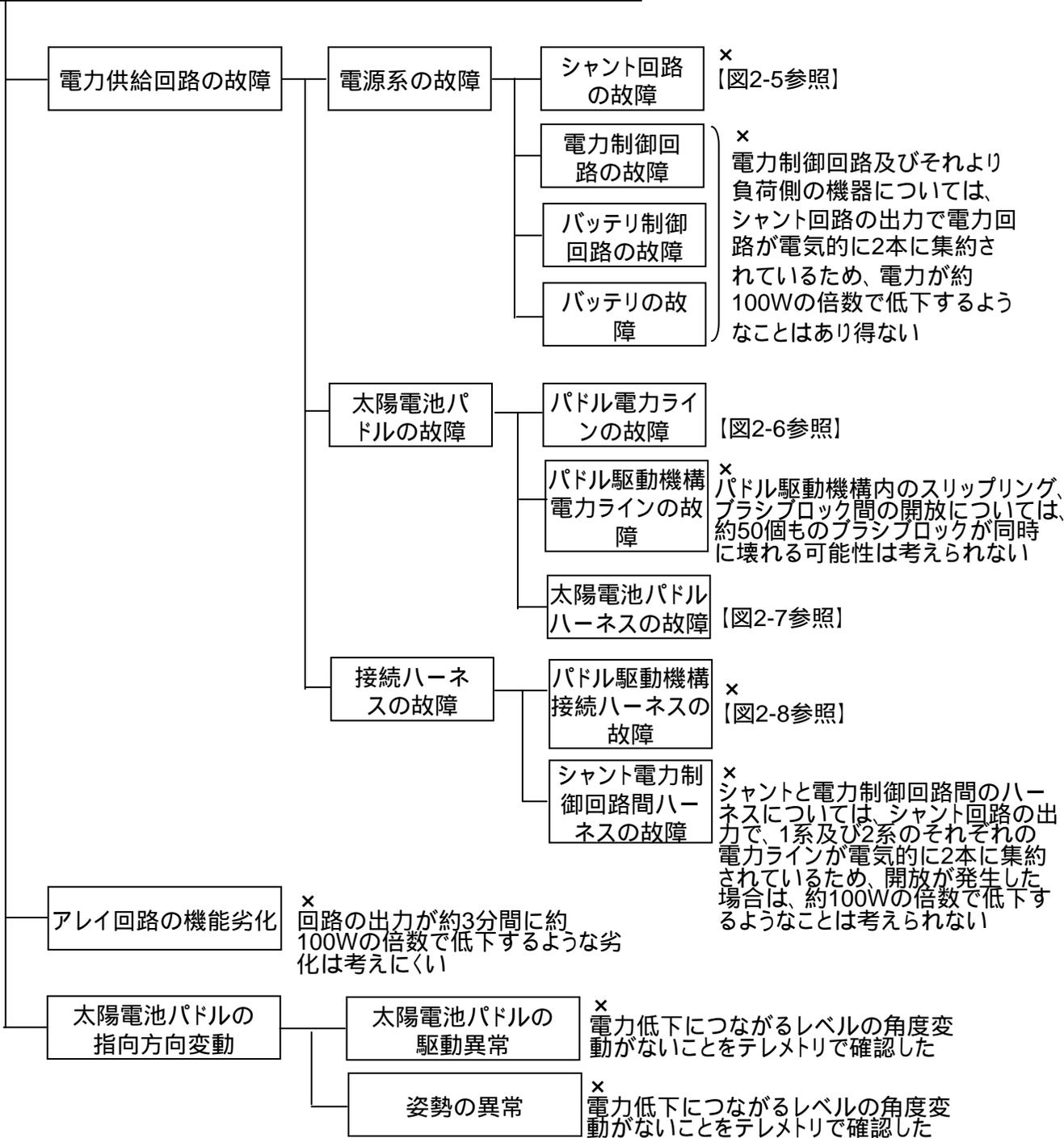


図2 - 4 発生電力低下に関するFTAの全体図

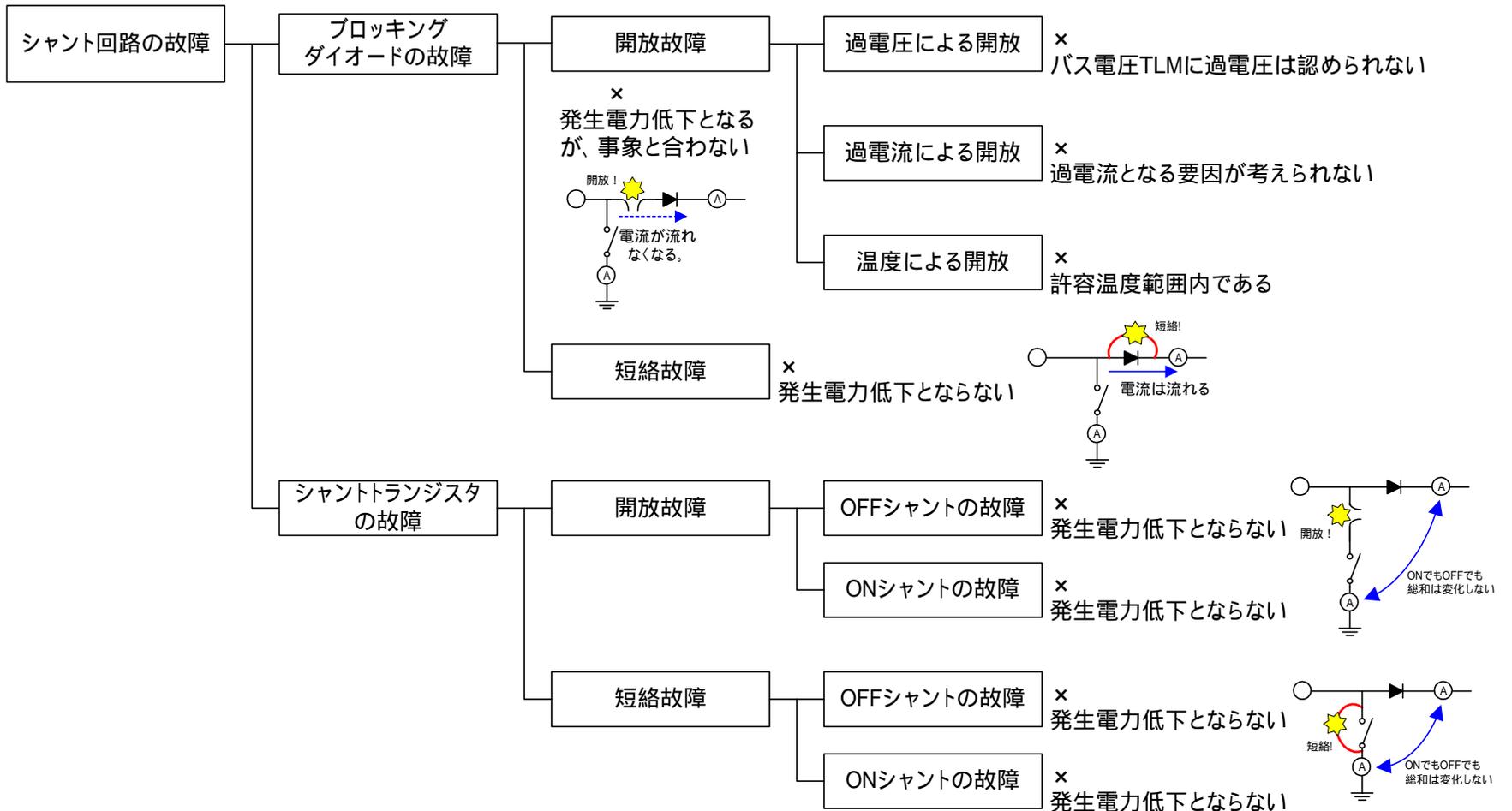


図2 - 5 シャント回路を原因とした電力低下に関するFTA

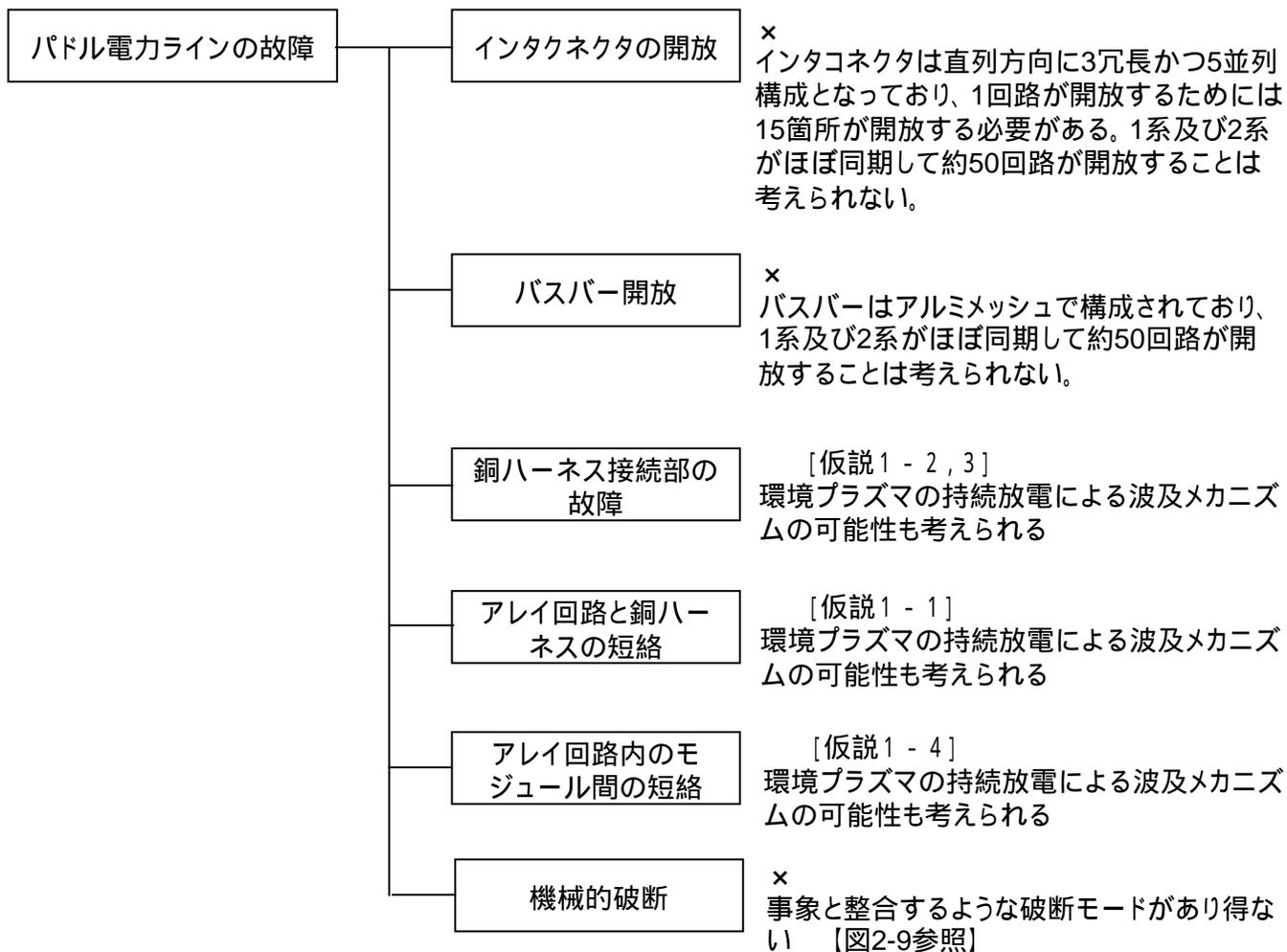


図2 - 6 パドル電力ラインを原因とした電力低下に関するFTA

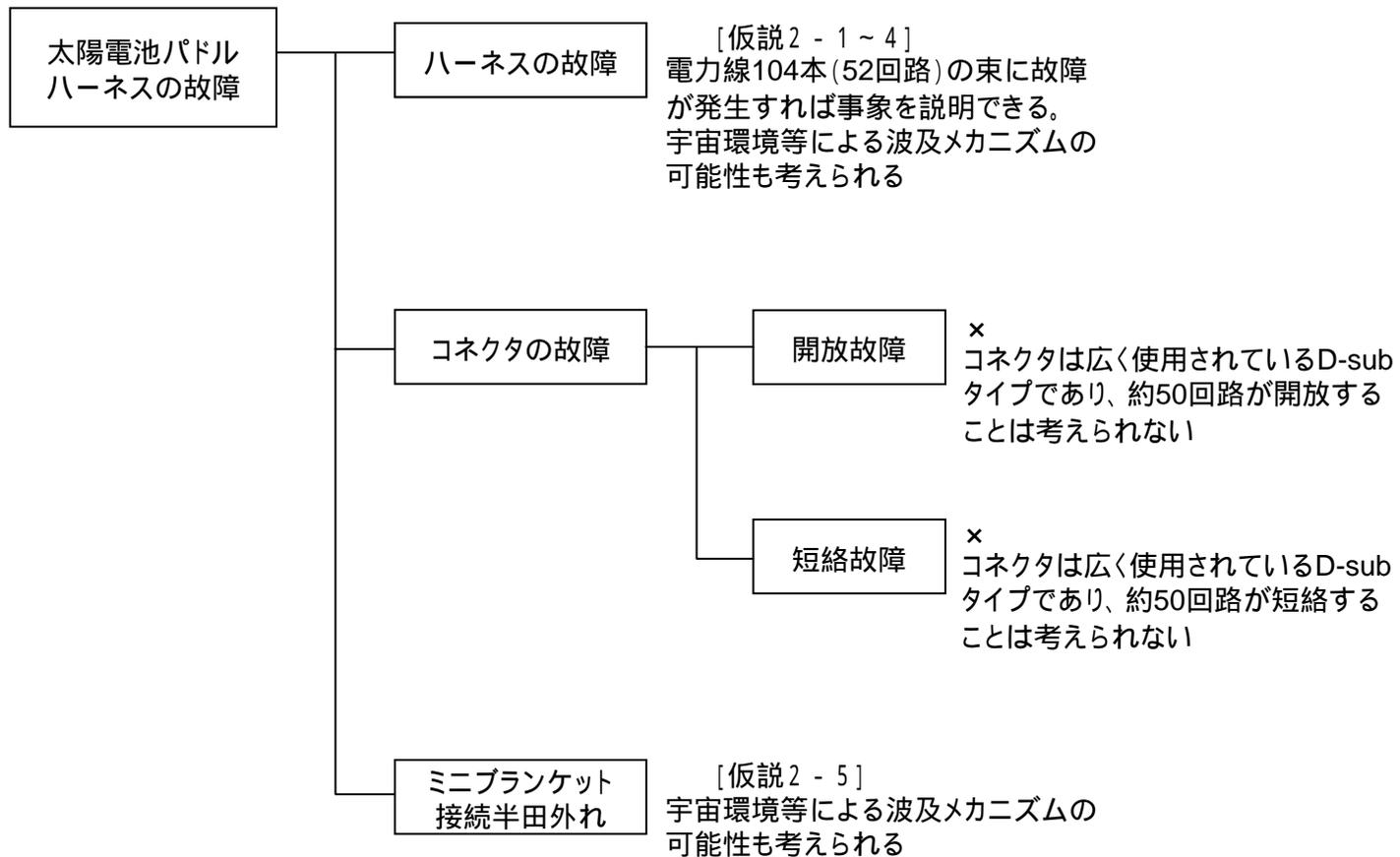


図2 - 7 太陽電池パドルハーネスを原因とした電力低下に関するFTA

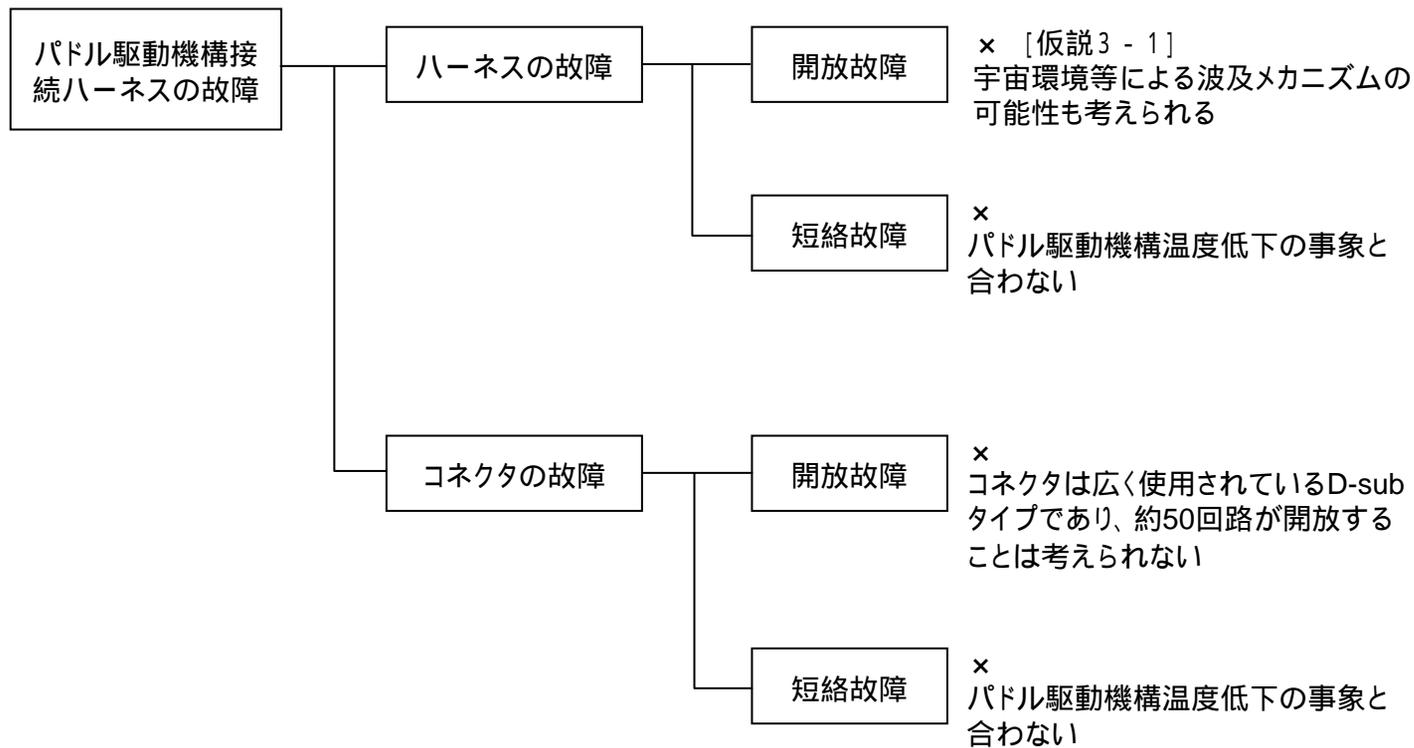


図2 - 8 パドル駆動機構接続ハーネスを原因とした電力低下に関するFTA

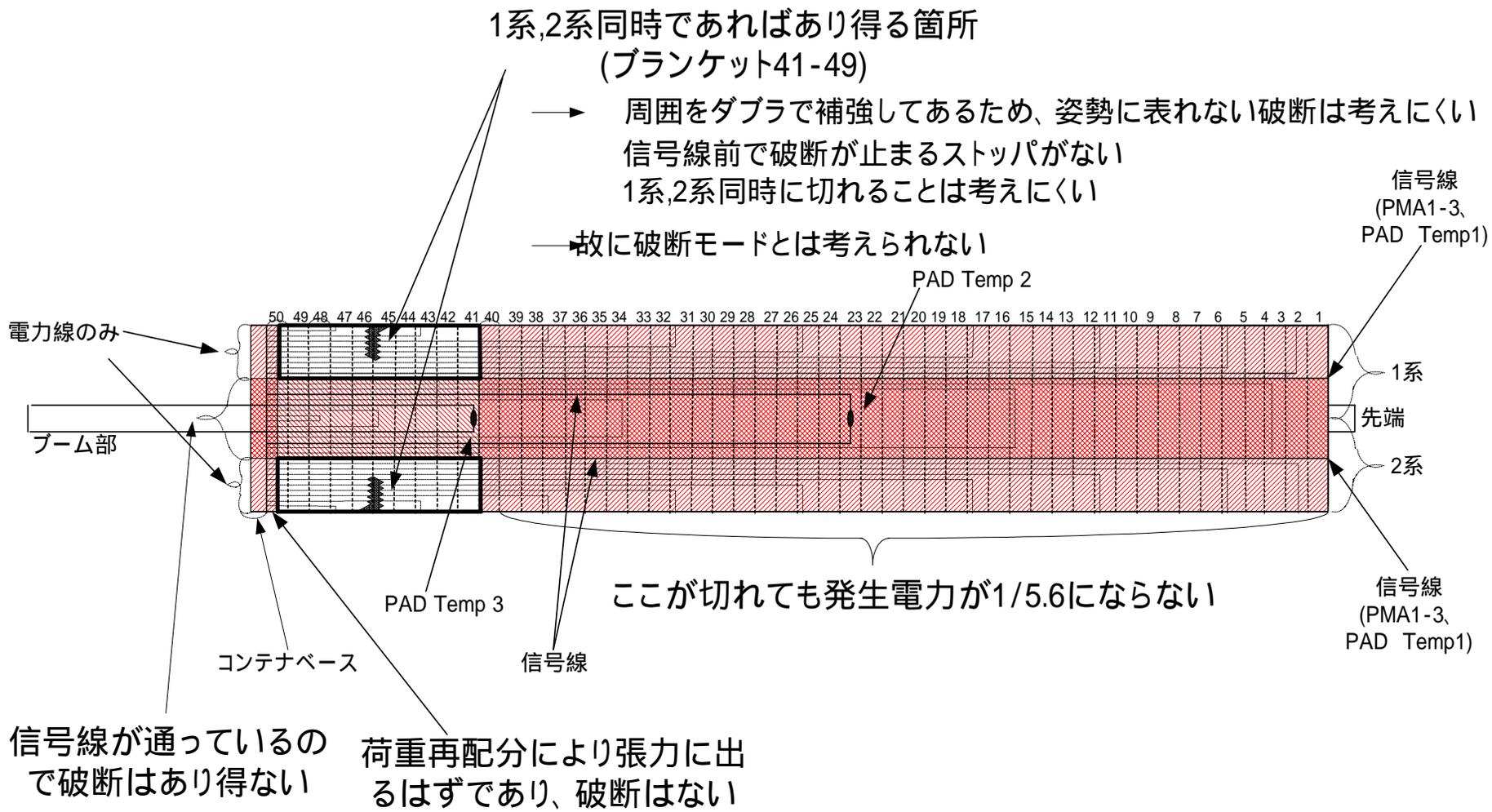


図2 - 9 部分破断とした場合の破断モード

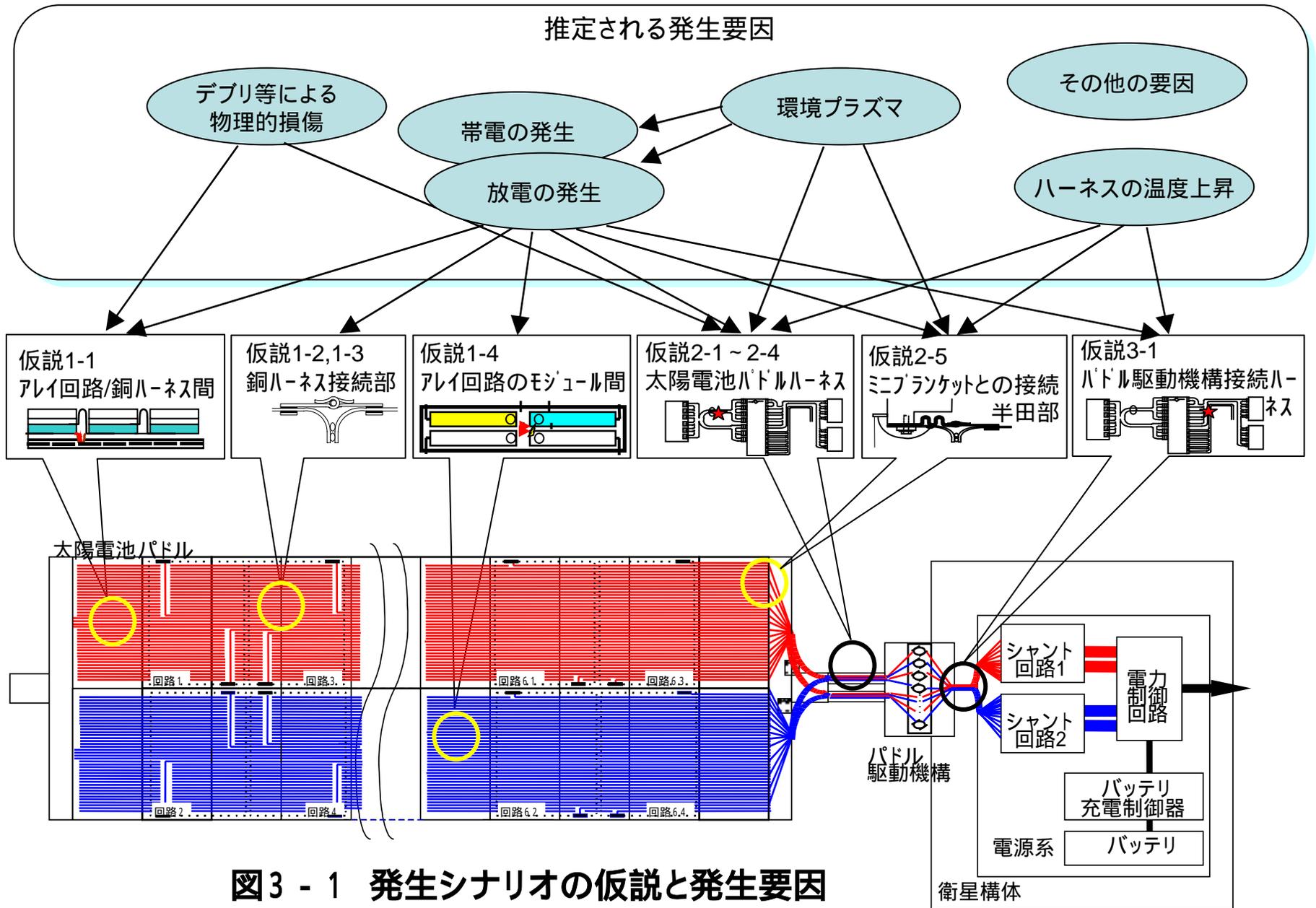


表3 - 1 発生箇所詳細と発生シナリオの推定 (1 / 3)

太陽電池パドルの電力ラインの開放または短絡

	発生箇所	発生シナリオ	結果事象	要確認・検討事項
仮説 1 - 1	アレイ回路 と銅ハーネス の間	何らかの要因によりポリイミドが損傷 (*1) アレイ回路のセル裏面と銅ハーネスの間でトリ ガ放電が発生 セルの発生電流により持続放電となり、回路が 短絡する。 隣接回路に波及。 (*2) 【図3 - 2 参照】	電力ライン の短絡	(*1) ポリイミドが損傷する原因 (*2) 約1kW分を残して約50回路分の電力ラインが短絡する可能 性 他衛星の試験において、同様のセル構造での持続放電の発生は 確認されているが、隣接回路への波及はなかった。 ハーネスの配置上、約1kW分の電力線と信号線を残すことは考え にくい。今後帯電以外の要因による放電の可能性を検討する。
仮説 1 - 2	銅ハーネス 接続部	銅ハーネス接続部 (挿み部) の半田付けランド間 でトリガ放電が発生。 (*1) セルの発生電流により持続放電となり、回路が 開放する。 (*1) 隣接回路に波及。 (*2) 【図3 - 3 参照】	電力ライン の開放	(*1) 放電発生の可能性 _ プラズマ環境下の試験を実施したが、持続放電に至らなかつ た。 (*2) 隣接回路への波及メカニズム ハーネスの配置上、約1kW分の電力線と信号線を残すことは考 えにくい。今後帯電以外の要因による放電の可能性を検討する。
仮説 1 - 3	銅ハーネス 接続部	銅ハーネス接続部 (挿み部) の半田付けランド間 でトリガ放電が発生。 (*1) セルの発生電流により持続放電となり、回路が 短絡する。 (*1) 隣接回路に波及。 (*2) 【図3 - 3 参照】	電力ライン の短絡	(*1) 放電発生の可能性 _ プラズマ環境下の試験を実施したが、持続放電に至らなかつ た。 (*2) 隣接回路への波及メカニズム ハーネスの配置上、約1kW分の電力線と信号線を残すことは考 えにくい。今後帯電以外の要因による放電の可能性を検討する。
仮説 1 - 4	アレイ回路 内のモジュ ール間	隣接するモジュールのセル端間でトリガ放電が 発生。 セルの発生電流により持続放電となり、回路が 短絡する。 隣接回路に波及。 (*1) 【図3 - 4 参照】	電力ライン の短絡	(*1) 隣接回路への波及メカニズム 他衛星の試験において、同様のセル構造での持続放電の発生は 確認されているが、隣接回路への波及はなかった。 約1kW分の電力線と信号線を残すことは考えにくい。今後帯電以 外の要因による放電の可能性を検討する。

表3 - 1 発生箇所詳細と発生シナリオの推定 (2 / 3)

太陽電池パドルハーネス (パドルとパドル駆動機構間の電力ライン) の開放または短絡

	発生箇所	発生シナリオ	結果事象	要確認・検討事項
仮説 2 - 1	太陽電池パドルハーネス	放電が発生しやすい環境となる (環境プラズマ、ハーネス被覆や MLI からの脱ガス、それらの複合要因による) (*1) 何らかの理由に起因する放電によりハーネスが開放する。 (*2) 【図3 - 5 参照】	ハーネスの開放	(*1) ハーネス、MLIの熱パラメータの温度特性【解析中】 (*2) 約50回路分の電力ラインが開放する可能性 傷のあるハーネスとMLI間でトリガ放電が発生することを確認した。温度、プラズマ密度を変えて放電実験を実施予定
仮説 2 - 2	太陽電池パドルハーネス	放電が発生しやすい環境となる (環境プラズマ、ハーネス被覆や MLI からの脱ガス、それらの複合要因による) (*1) 何らかの理由に起因する放電によりハーネス被覆が溶融し芯線が短絡する。 (*2) 【図3 - 5 参照】	ハーネスの短絡	(*1) ハーネス、MLIの熱パラメータの温度特性【解析中】 (*2) 約50回路分の電力ラインが短絡する可能性 傷のあるハーネスとMLI間でトリガ放電が発生することを確認した。温度、プラズマ密度を変えて放電実験を実施予定
仮説 2 - 3	太陽電池パドルハーネス	何らかの理由によりハーネス被覆及び芯線が損傷し開放する。 (*1) 【図3 - 5 参照】	ハーネスの開放	(*1) 約50回路分の電力ラインが開放する可能性
仮説 2 - 4	太陽電池パドルハーネス	何らかの理由によりハーネス被覆が損傷し芯線が短絡する。 (*1) 【図3 - 5 参照】	ハーネスの短絡	(*1) 約50回路分の電力ラインが接触する可能性
仮説 2 - 5	ミニブラケットとの接続半田部	放電が発生しやすい環境となる (環境プラズマ、ハーネス被覆や MLI からの脱ガス、それらの複合要因による) (*1) 何らかの理由に起因する放電によりハーネス温度が上昇し、半田接続が溶融、開放する。 (*2) 【図3 - 6 参照】	ミニブラケットへの半田接続外れ	(*1) ハーネス、MLIの熱パラメータの温度特性【解析中】 (*2) 接続半田部の軌道上温度解析【解析中】

表 3 - 1 発生箇所詳細と発生シナリオの推定 (3 / 3)

パドル駆動機構接続ハーネス (パドル駆動機構とシャント間の電力ライン) の開放

	発生箇所	発生シナリオ	結果事象	要確認・検討事項
仮説 3 - 1	パドル駆動機構接続ハーネス	放電が発生しやすい環境となる (ハーネス被覆や MLI からの脱ガス、それらの複合要因による) (*1) 何らかの理由に起因する放電によりハーネスが開放する。 (*2) 【図 3 - 7 参照】	ハーネスの開放	(*1) ハーネス、MLI の熱パラメータの温度特性 20 番線を使用している。MLI はボンディングされているか、他の MLI に接触しており他部位との間で電位差を生じにくい構造であることを確認した。 (*2) 約 1kW 分を残して約 50 回路分の電力ラインが開放する可能性 ハーネスの束ね方から、約 1kW 分の電力線と信号線を残して開放する事は考えにくい。

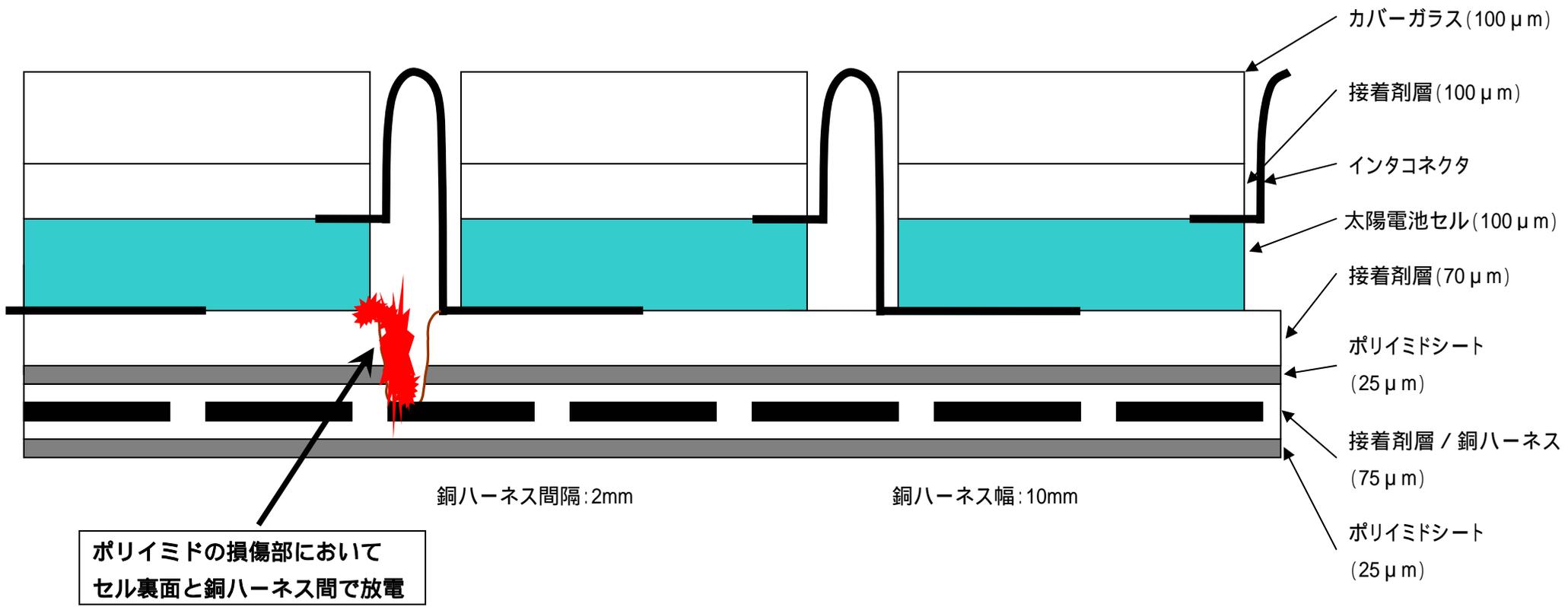


図3 - 2 (仮説1 - 1)アレイ回路と銅ハーネスの間

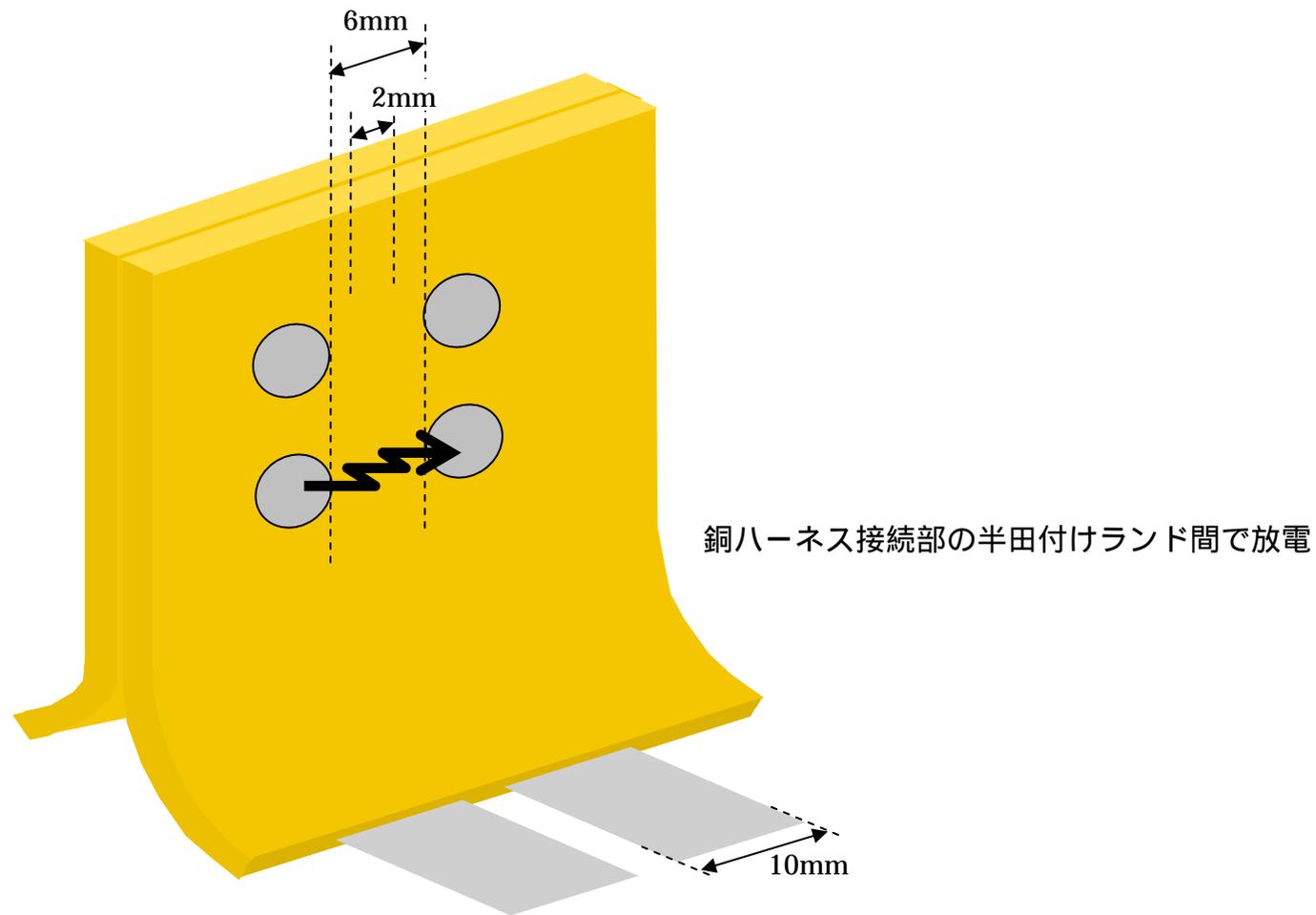


図 3 - 3 (仮説 1 - 2 及び 3) 銅ハーネス接続部

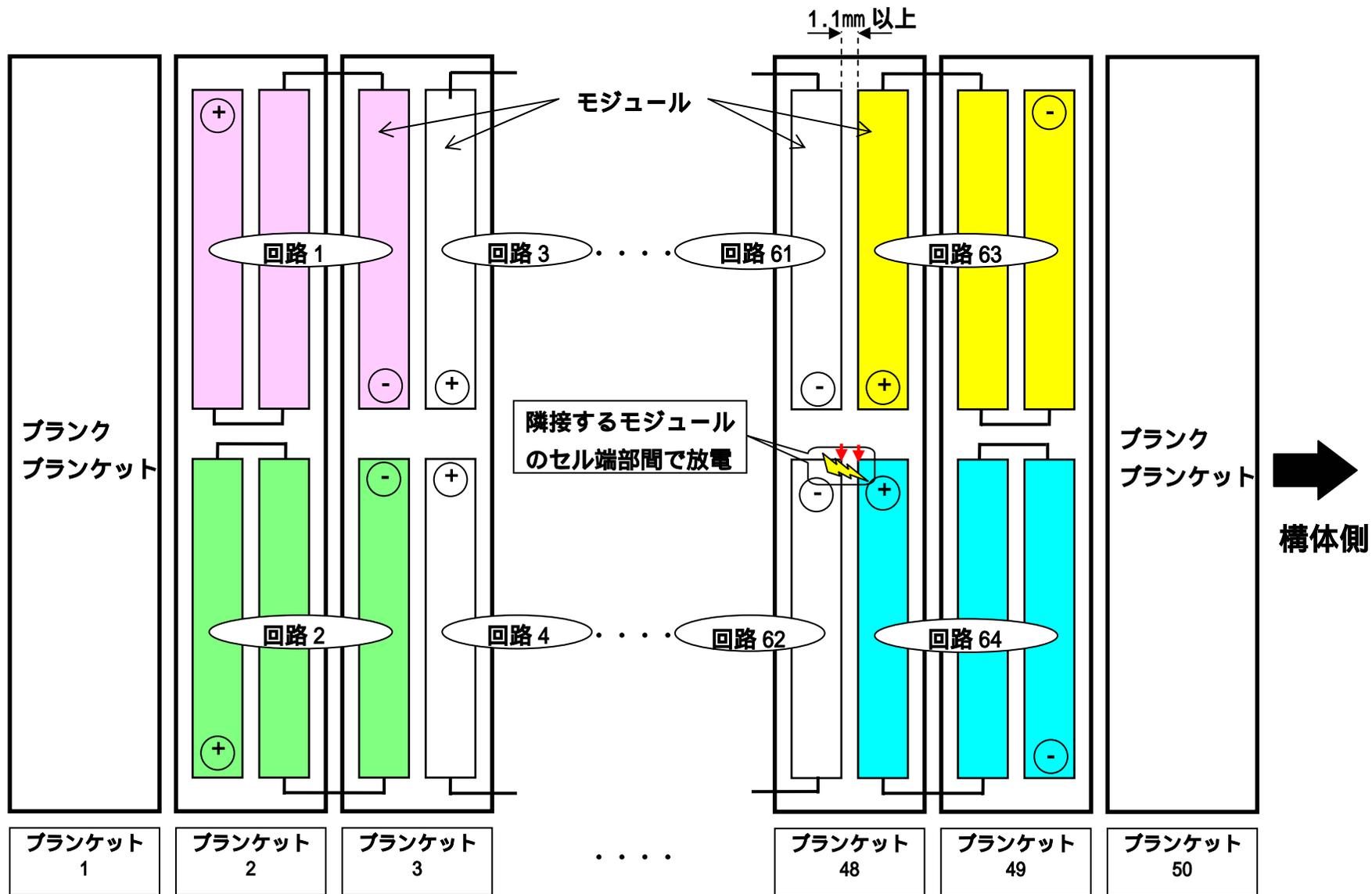


図 3 - 4 (仮説 1 - 4) アレイ回路のモジュール間

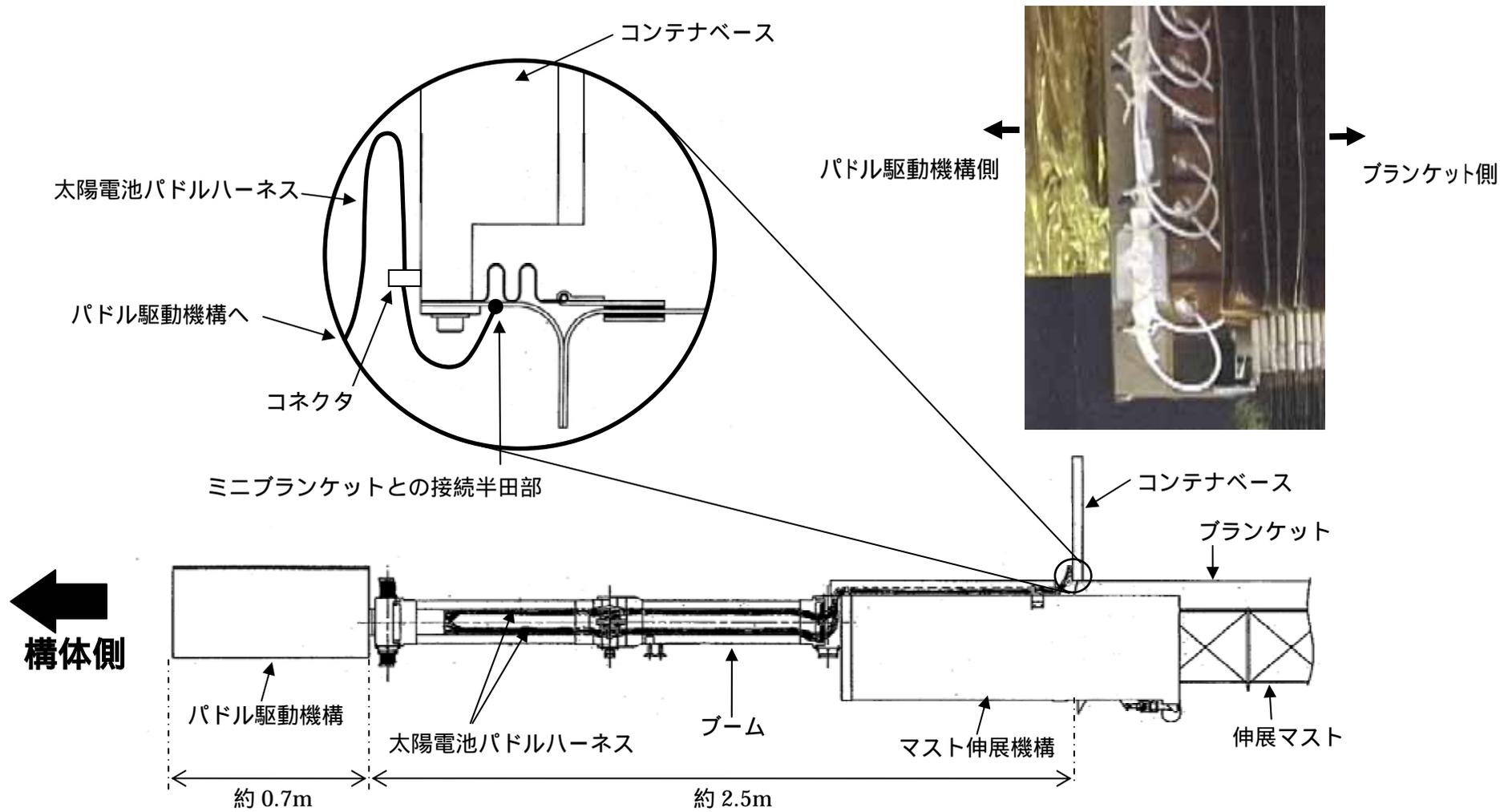


図3 - 6 (仮説2 - 5) ミニブランケットとの接続半田部

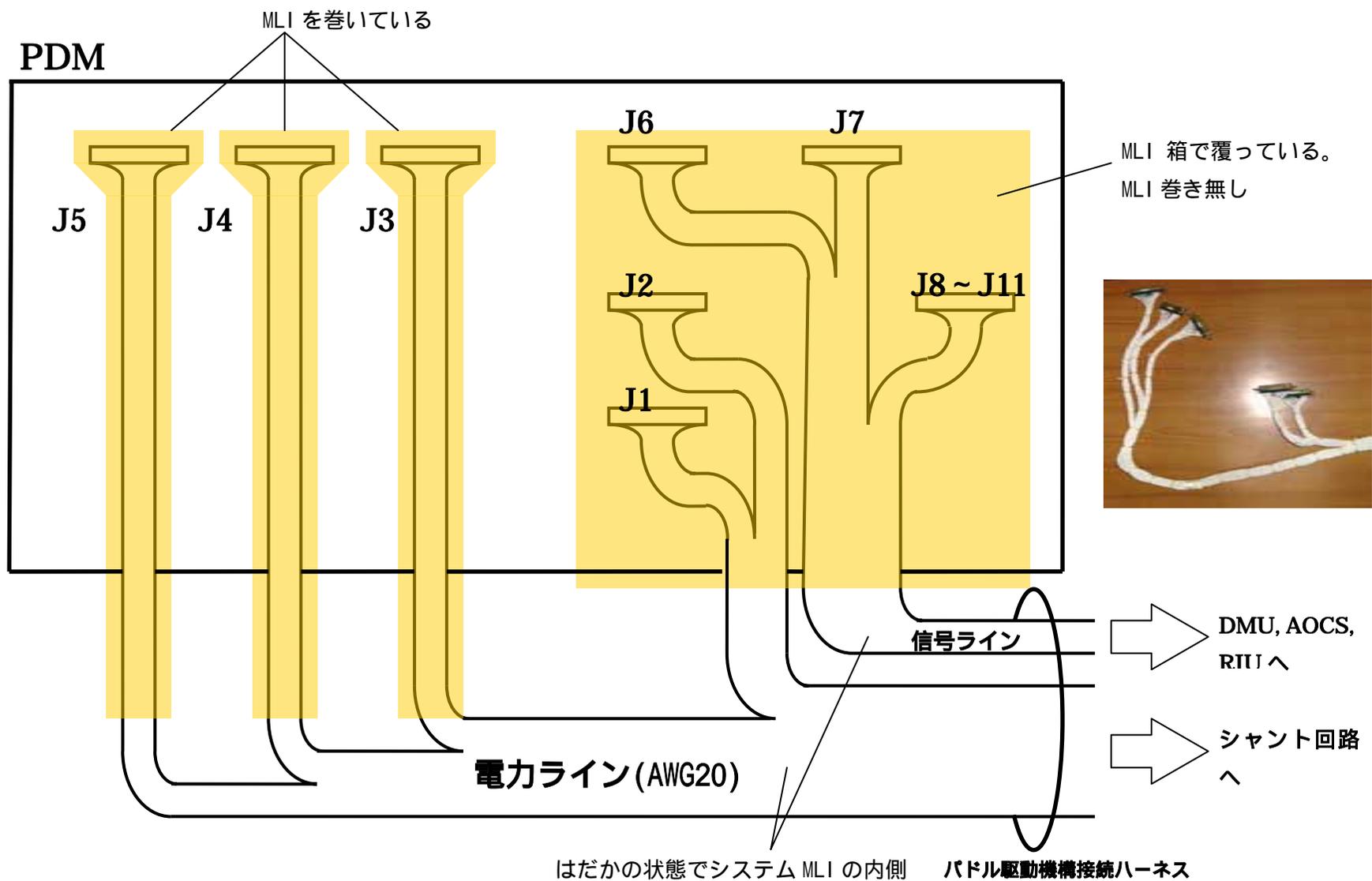


図 3 - 7 (仮説 3-1) パドル駆動機構接続ハーネス

補足説明

シャントが 10/24 の発生電力低下の原因とはなり得ない理由

【事実】

- 1．発生電力が、1系と2系においてほぼ同期して約 100W の倍数で低下
- 2．シャントは別筐体から成る 1 系及び 2 系で構成され、各系が 32 回路の独立したシャント素子、ブロッキングダイオードを有する。

【理由】

1．シャント内の故障で約 100W の倍数の電力低下が発生するのは、ブロッキングダイオードの開放のみである。(図 1)

ブロッキングダイオードが開放すると、負荷側に供給される電流 (PCU 入力電流) が減少するため、電力の低下につながる。

- ・ブロッキングダイオードが短絡した場合、発生電力の低下にはつながらない。(PCU 入力電流とシャント電流の和は変わらない)
- ・シャント素子が開放した場合、その時点で OFF となっていたシャント素子が ON となることにより、電力低下にはつながらない。
- ・シャント素子が短絡した場合は、シャントが ON になった状態と同じであり、電力の低下にはつながらない。(PCU 入力電流とシャント電流の和は変わらない)

なお、電力低下時もシャントは正常に制御されていたことがテレメトリで確認されている。

2．ブロッキングダイオードはシャント筐体中で 4 列に実装されており、また電力低下前のシャントの温度テレメトリは 37 度以下であった(許容温度は 70 度)ことから、全体が高温となる等の理由でシャント内の部品が一斉に(連続的に)故障したとは考えられない。

注 : シャント温度の代表性について

シャントに実装されているブロッキングダイオードやシャントトランジスタは、放熱面を兼用するアルミ製筐体に強く熱的に結合された状態で実装され

ている。このため、具体的にどの素子に電流変化があったかや1回路相当の電流変化がモニタできない場合が存在するが、全体の温度の上昇、下降はモニタでき、また、例え端部であっても、ブロッキングダイオードやシャントトランジスタの許容温度を超えるような温度上昇はモニタできる。

3. シャント1系と2系は別筐体であり、それぞれに実装されているブロッキングダイオードがほぼ同期して開放することは考えられない。

ブロッキングダイオード及びその接続配線が1回路ずつ開放した場合のみ、約100Wの倍数の電力低下が発生

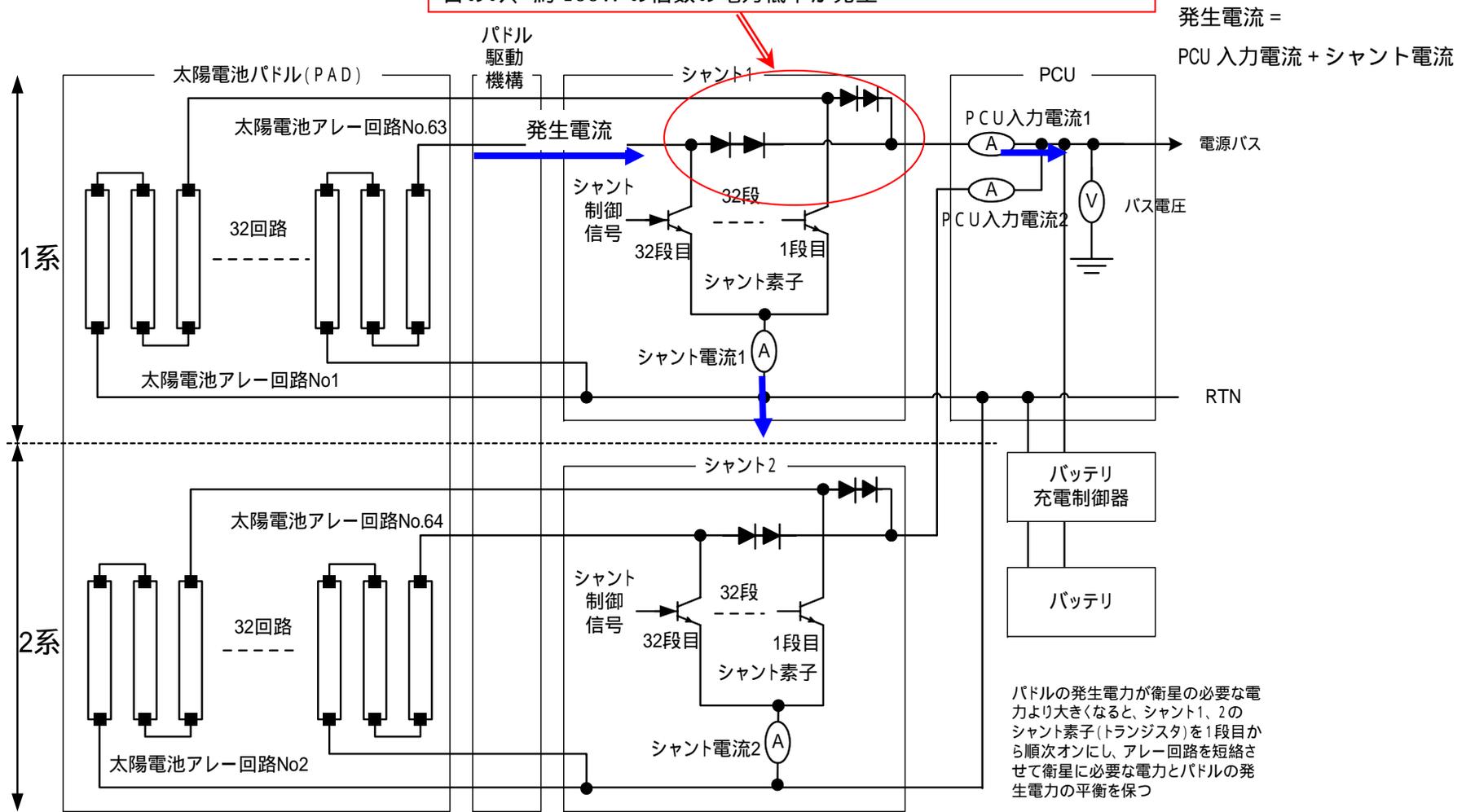


図1 シャントの構成(概略)